

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta Strojní – Institut dopravy

Výukový program na téma “Statická elektřina při práci
na letecké technice“

Education Program for „Static Elektriccity by the Work
on Airplanes“

Student:

Jakub Vítek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. František Martinec, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Vítek**
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy
Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy
Téma: Výukový program na téma "Statická elektřina při práci na letecké technice"
Education Program for "Static Electricity by the Work on Airplanes"

Zásady pro vypracování:

1. Analýza vzniku a vybíjení statické elektřiny při práci na letecké technice.
2. Návrh postupů pro demonstraci vzniku a vybíjení statické elektřiny při práci na letecké technice.
3. Návrh výukového programu pro demonstraci vzniku a vybíjení statické elektřiny při práci na letecké technice.

BP musí v rámci úvodu obsahovat kapitolu se stanovením cílů práce a v závěru zhodnocení dosažených cílů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Martinec, F.: Elektrické systémy draku letadla, Košice, 1994.
Technická dokumentace k letounu, Job air CEAM, Letiště Mošnov.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. František Martinec, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 23. května 2011

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, cursive letters, likely representing the student's name.

podpis studenta

Prohlašuji, že

jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Ostravě: 23. května 2011



Podpis studenta

Jakub Víték
Komunardů 6
Havířov 73601

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VÍTEK, Jakub. *Výukový program na téma „Statická elektřina při práci na letecké technice“*. Ostrava : Institut dopravy – Ústav letecké dopravy, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2011. 50 stran. Bakalářská práce.

Vedoucí práce: Ing. František Martinec, Csc.

Tato bakalářská práce se zabývá problematiky statické elektřiny stěžující podmínky pro práci na letecké technice. Práce se skládá ze dvou částí. Jednou je psaná teoretická část a druhou je multimediální výukový program. Práce by měla být pomůckou pro vyučující a studenty a měla by zabezpečit názorné pochopení problematiky statické elektřiny v letecké dopravě.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

VÍTEK, Jakub. *Education program for „Static electricity by the work on airplanes“ : Bachelor Thesis*. Ostrava : Department of Air Transport, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB –Technical University of Ostrava. 2011. 50 pages.

Thesis head: Ing. František Martinec, Csc.

This Bachelor thesis deals with problems about static electricity which making difficult conditions for work on airplane. The thesis consist of two parts. One is written teoretical part and second is multimedia tutorial. The thesis should be a tool for teachers and students. It should provide visual understanding of static electricity in aviation.

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
0. Cíl práce a metodika vypracování	9
1. Úvod	10
2. Statická elektřina	11
3. Statická elektřina v letecké dopravě	12
4. Vznik statické elektřiny na letecké technice.....	14
4. 1. Vznik statické elektřiny za letu.....	14
4. 1. 1. Triboelektrický jev	14
4. 1. 2. Indukční jev	15
4. 1. 3. Nabíjení způsobené spaliny pohonných hmot	16
4. 2. Vznik statické elektřiny na zemi.....	17
4. 2. 1. Čerpání paliva	17
4. 2. 2. Nabíjení při srážkách	18
4. 2. 3. Nabíjení indukci.....	18
5. Vybíjení statické elektřiny	19
5. 1. Druhy výbojů.....	19
5. 1. 1. Korónový výboj	19
5. 1. 2. Eliášův oheň.....	19
5. 1. 3. Plazivý výboj	20
5. 1. 4. Jiskrový výboj.....	20
5. 1. 5. Obloukový výboj	21
5. 2. Proces vybíjení na letecké technice	22
5. 2. 1. Výboje do atmosféry.....	22
5. 2. 2. Výboj mezi izolovanými plochami.....	23
5. 2. 3. Výboje na izolačních površích.....	23
5. 2. 4. Výboj do země	23
6. Nepříznivé vlivy vybíjení	24
7. Ochrana člověka a avioniky před statickou elektřinou	26

7. 1. Propojení, uzemnění a povrchové úpravy draku letadla	26
7. 2. Statické vybíječe.....	28
7. 2. 1. Celkový proud náboje.....	30
7. 2. 2. Celkový počet vybíječů	30
7. 2. 3. Výběr typu vybíječe.....	30
7. 2. 4. Rozmístění vybíječů	31
7. 2. 5. Pravidla pro instalaci vybíječů.....	32
7. 3. Ochrana před bleskem	33
8. Statická elektřina při práci na letecké technice.....	34
8. 1. Ochranné prostředky pro práci na letecké technice.....	34
8. 1. 1. Antistatické oblečení.....	34
8. 1. 2. Ochranné pracovní pomůcky	36
8. 1. 3. Antistatické prostředí	37
8. 2. Práce na letecké technice.....	38
8. 2. 1. Údržba drakových systémů.....	39
8. 2. 2. Manipulace a oprava elektronických systémů	40
8. 2. 3. Čerpání paliva	43
9. Výukový program.....	45
9. 1. Simulace vzniku a vybíjení.....	45
9. 2. Názorné ukázky.....	46
9. 3. Shrnutí	46
10. Hodnocení cílů	47
11. Závěr.....	48
12. Seznam použité literatury	49

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický ekvivalent	Český překlad
KV	Short wave	Krátké vlnové délky
VKV	Very high frequency	Velmi krátké vlnové délky
UKV	Ultra high frequency	Ultra krátké vlnové délky
OMEGA	<i>OMEGA navigation system</i>	Celosvětová navigační soustava OMEGA
LORAN	<i>Long range navigation</i>	Dvourozměrná impulzní hyperbolická radionavigační soustava
VOR	<i>VHF Omnidirectional radio range</i>	VKV všesměrový radiomaják
ILS	<i>Instrument Landing system</i>	Přístrojový přistávací systém
GPWS	<i>Ground proximity warning system</i>	Systém varování blízkosti země
NCU	<i>Navigation computer</i>	Navigační počítač
FMC	<i>Flight management computer</i>	Plánovací počítač
PES	<i>Polyester</i>	Polyester
LRU	<i>Line replaceable unit</i>	Výměnný blok

0. Cíl práce a metodika vypracování

Cílem této práce by je vytvořit fungující výukový program, který bude k dispozici vyučující popřípadě školitelům při výuce o statické elektřině v oblasti letecké techniky a údržby. Dílčím cílem je zpracování metodiky, která může pomoci porozumět dané problematice, jak z praktického, tak hlavně z teoretického hlediska. Jako zásadní význam mé práce považuji praktičnost a smysl výukového programu, který by mohl někoho naučit něco velice užitečného a mohl by zamezit chybám, díky kterým už zemřelo několik stovek lidí. Tím nechci říct, že moje bakalářská práce bude zachraňovat životy, ale byl bych rád, kdyby kombinace písemného dokumentu a multimediálního výukového programu někoho něco naučila.

Ve vypracování bakalářské práce se nejdříve věnuji písemné části, kde je popsáno vše, co se týká statické elektřiny při práci na letecké technice, při provozu letecké techniky, ale i obecně o statické elektřině, jejímu vzniku, obecným způsobům vybíjení a dalším hlediskům tohoto problému.

V multimediálním výukovém programu se zaměřuji hlavně na názornost. Tímto dávám najevo, že nepůjde jenom o text s teorií promítnutý na zdi. Naopak se bude jednat o výuku, kdy se student nebude muset spolehnout pouze na svou představivost a na schopnost přednášejícího danou činnost popsat, ale bude si moci všechno prohlédnout. Na videozáznamu, obrázcích ve vysokém rozlišení či animacích, které budou co nejnázornější. Kompaktní disk s multimediálním výukovým program a touto prací ve formátu pdf naleznete na zadní straně desek.

1. Úvod

Na úvod této práce je třeba říct, že problematika statické elektřiny je problematikou, o které se moc nemluví. Pokud se přece jenom někoho zeptáte na statickou elektřinu, odpoví vám většinou něco ve stylu liščího ohonu a ebonitové tyče. Jenomže to není vše, co statická elektřina skrývá. Lidé často zapomínají, jak nebezpečný tento jev vůbec může být.

Proto jsem k mojí práci přistoupil s určitým respektem a věnuji se této problematice celkem detailně. V úvodních kapitolách se tato práce snaží rozebrat co je statická elektřina obecně za jev a jakou roli potom hraje v letectví. Když se podíváme dále, dozvíme se už přímo o konkrétních věcech z letecké praxe, a sice jak statická elektřina vzniká na letecké technice za letu i na zemi a jak se vybíjí na letecké technice taktéž za letu i na zemi. Mezi těmito kapitolami jsou také nadefinované druhy výbojů, ke kterým může dojít při vybíjení statického proudu. V další části mé práce najdete, jaké jsou nepříznivé vlivy statické elektřiny na letecký provoz, je tam zmínka o rušení možnostem výboje a výbuch, ale také se zde mluví o problematice zasažení bleskem.

Jelikož jsme doteď mluvili pouze o tom negativním, tak vám na úvod můžu sdělit, že v mé práci najdete i jak se chránit pře statickým výbojem. A ne jenom jak chránit sebe, ale i jak chránit ostatní lidi a všechny ty drahé přístroje, které se na letecké technice používají.

V poslední kapitole, která se týká problematiky statické elektřiny, naleznete spíše praktické popisy, které se vztahují na různé práce údržby na letecké technice. V této kapitole se také nachází pár odstavců věnujících se čerpání paliva, které je velmi ovlivněno statickou elektřinou, ale tohle je zatím jenom úvod, tak nebudeme předbíhat, dokud se k tomuto úkonu nepročtete sami.

2. Statická elektřina

Se statickou elektřinou jakožto s pojmem, se setkáváme, mluvíme li o elektrickém náboji, který se vytváří jako výsledek fyzikálně chemických procesů jako jsou tření, indukce, drčení, ale také někdy stačí pouhý dotyk. Elektrický náboj je odvozenou jednotkou SI a jeho velikostní jednotkou je Coulomb (značka C). Náboj dosáhne jednotky jeden coulomb, jestliže se těleso nabíjí proudem 1 A po dobu 1 s. V praxi se obvykle setkáváme s hodnotou mnohem menší než je 1 C, jako například $1\mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$. [2][5]

Elektrostatický náboj je náboj v klidovém stavu a je zpravidla rozprostřen po povrchu těles. Jsou – li dva různé elektrické náboje odděleny nevodivým prostředím, vytvoří se mezi nimi napětí, ale nedochází k pohybu nábojů. Obecně je známo, že význam elektrické energie je zejména ve využití vlastností pohybujících se elektrických nábojů. Ale i přesto je potřeba se tímto druhem elektrické energie zabývat, protože hodnoty těchto nábojů vznikajících při úkonech, u kterých by vás ani nenapadlo, že může dojít k nějakému výboji, jsou vysoké (až v řádech desetitísíců). Pokud tyto hodnoty porovnáme s klasickou hodnotou 230 V, potom bychom se mohli trochu zděsit. Jenomže z praktického hlediska nezáleží pouze na napětí, ale především na hustotě elektrických nábojů, a právě ta je při vzniku elektrostatických nábojů velmi malá. A tak, když si rychle svlékneme košili z umělé hmoty, vznikne napětí zhruba 10000 V, vybíjení elektrických nábojů se někdy projeví jen slabě slyšitelným praskavými zvuky, či lehce bodavým pocitem při přiblížení prstu k nějakému uzemněnému předmětu. V temnu bychom mohli pozorovat přeskakování krátkých jisker.

Vznik elektrostatického náboje může mít i velmi škodlivé důsledky. Může se totiž stát, že elektrostatický náboj vzroste natolik, že se poruší pevnost nevodivého prostředí a náboj se vybije jiskrou, která může vyvolat požár nebo výbuch. Vznik elektrostatických nábojů se může projevit i na zhoršeném příjmu rozhlasových vln, v našem případě dochází poruše či úplnému přerušení rádiového spojení.[5]

3. Statická elektřina v letecké dopravě

Statická elektřina a vybíjení elektrostatického náboje je jedním nejvýznamnějších faktorů, které ovlivňují bezpečný provoz letecké techniky a údržba letecké techniky. Obrovským problémem může být pro letící letoun zásah bleskem. V tomto případě, má-li blesk dostatečnou hodnotu impulsního proudu (udává se až stovky kA), může dojít až k propálení díry do draku letadla. Pokud letoun zrovna neletí a je na zemi, tak se nevyhýbá riziku, které statická elektřina přináší. Jde hlavně o nebezpečí výboje při čerpání paliva, ale tomu se ještě budeme věnovat v dalších kapitolách podrobněji.

Vliv statické elektřiny na přístrojové vybavení je neoddiskutovatelný obzvláště však u moderních letadel, která používají přístroje nové generace zvané letecká avionika. Důvodem, proč má statická elektřina vliv na bezpečný provoz avionických systémů je, že se skládají z polovodičových prvků. Tyto prvky mohou být buď poškozeny, nebo zcela zničeny průrazem (poznámka 1) elektrostatického náboje. Dnešní přístrojové systémy používají výměnných jednotek LRU (line replaceable units), které jsou mezi sebou propojeny pomocí drátů a konektorů. Elektrické obvody těchto jednotek jsou realizovány pomocí tištěných spojů, na kterých jsou umístěny pasivní součástky, jako mohou být rezistory, kondenzátory, cívky atd. Potom zde můžeme vidět také aktivní součástky, a sice to jsou diody, tranzistory, operační zesilovače a ostatní integrované obvody.

Obzvláště nebezpečný je průraz vyvolaný statickou elektřinou pro mikroelektronické integrované obvody, jelikož to jsou obvody, které se vyznačují velkým množstvím polovodičových součástek umístěných na malé ploše tak, že izolační vzdálenosti mezi jednotlivými prvky jsou minimální. Obzvláště náchylné na toto poškození jsou obvody obsahující tranzistory MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Electric Transistor). MOSFET tranzistory jsou součástky, které jsou řízeny elektrickým polem.

Nebezpečí zničení nebo poškození výměnných jednotek hrozí především při jejich montáži popřípadě demontáži, opravách a při jejich transportu do dílny popřípadě skladu. Pro tyto úkony existují postupy, které je potřeba dodržovat a znát. Těmto postupům se budeme věnovat později. [1]

Poznámka 1 – Průraz

Při dostatečně silné intenzitě pole může dojít k vytržení elektronu z příslušného orbitu a vzniku volných elektronů, které narušují rovnováhu u dalších atomů. Z hlediska vnějšího pozorovatele, izolant začne protékat proud. Průtokem proudu se izolant zahřívá, uvolňují se další elektrony, až dojde k lavinovému zvýšení proudu, kterému se říká elektrický průraz. [3]



Obr. 3.1.: Tištěný spoj s tranzistory MOSFET [18]

4. Vznik statické elektřiny na letecké technice

Na letadle může vznikat statická elektřina tak říkajíc ve dvou fázích. To znamená, že letadlo se nabíjí statickým nábojem:

- Za letu
- Na zemi

4. 1. Vznik statické elektřiny za letu

Každé letadlo za letu je předmětem jevu nazvaného elektrizace (buzení elektřiny). Rozeznáváme tři druhy elektrizace:

- nabíjení elektřinou vzniklou třením – Triboelektrický jev
- indukované náboje vnějšími poli – Indukční jev
- nabíjení způsobené spaliny pohonných hmot od motoru

4. 1. 1. Triboelektrický jev

Tento jev způsobuje nabíjení tělesa třením. Dojde k němu při kolizi povrchů dvou různých těles, při níž se rozdělí nosiče kladných a záporných nábojů, což se projeví zejména při oddělení obou látek. Velikost náboje závisí na materiálu kontaktních látek, jejich fyzikálním a mechanickém stavu (hustotě, pnutí, teplotě) a přítomnosti třecích látek jako jsou například zbytky katalyzátorů u polymerů, povrchových nečistot atd. Tření má na velikost náboje vliv, který však není rozhodující. Triboelektrický jev se nejvíce projevuje u izolantů, vyskytuje se však i při styku izolantů s kovy a polovodiči a lze jej pozorovat i u kapalin, plynů a par. U styku kovů s kovy je překryt galvanoelektrickým jevem a dalšími jevy vázanými na kovy. Nejvýraznější triboelektrický jev lze pozorovat u syntetických polymerů nebo jiných plastických hmot. V případě vodičů je přenesený elektrický náboj soustředěn pouze na povrchu vodiče. [1]

Takovému rozdělení náboje nejlépe odpovídá dvěma empirickým zákonům. První z nich zní: „Ze dvou vzájemně se stýkajících dielektrických látek se kladně nabíjí ta, která má větší relativní permitivitu.“ A druhý: „Třením dvou izolantů se uvolňuje náboj, jehož velikost je úměrná rozdílu relativních permitivit těchto izolantů.“ [1]

Po takovémto rozdělení náboje je třeba mít na zřeteli, že vždy dochází k návratu do původního stavu, tomuto jevu se říká relaxace. Relaxace se uskutečňuje buď samotnými

tělesy, nebo tělesy či látkami v jejich blízkosti, také vzduchem. Zkrátka vždy to musí být nějaká vodivá cesta. Vznik náboje je tedy pozorovatelný pouze tehdy, pokud je vodivost cesty, po které dochází k relaxaci dostatečně malá, tak že doba vyrovnání náboje je dostatečně dlouhá. Typická maximální hodnota měrné vodivosti, kdy lze při triboelektrickém jevu oddělení nábojů sledovat je 10^{-11}Sm^{-1} . Zvětšením vodivosti povrchu látek se tedy snižuje možnost vzniku statické elektřiny. [1]

Podstatný vliv na vznik elektrostatického náboje má také vlhkost prostředí. Zvětšená vlhkost prostředí má za následek pokles velikosti náboje a tím i snížení potenciálních rozdílů mezi nabitými tělesy.

V naší praxi provozování letecké techniky to znamená, že se za letu letoun ve vzduchu nabíjí třením o vzduch. V ideálním případě že ve vzduchu není moc částec prachu či srážek ať už sněhových nebo dešťových, tak vzniká na letadle většinou kladný náboj. Pokud letoun letí nejběžnější cestovní výškou 10 000 m, potom změna potenciálu vůči zemi dosahuje hodnoty někde kolem 100 000 V. U vrtulníku, který se vznáší na místě může triboelektrický jev vyvolat náboj, jemuž odpovídá rozdíl potenciálů oproti zemi od 1000 V až k 1 MV, k čemuž může při speciálních podmínkách, co se týče stavu okolí (vlhkost, teplota, rychlost větru, atd.). [1][6]

Jak už jsem naznačoval, tak hodně záleží na meteorologických podmínkách, ve kterých se letadlo ve vzduchu pohybuje. A právě v závislosti na druhu, rozměru, hustotě a relativní rychlosti částic, dopadajících na potah draku letadla, vzniká větší nebo menší nabíjecí proud. Proudové hustoty, které jsou stanoveny pro různé druhy atmosférických podmínek, kterými letadlo prolétává, jsou následující [4]:

- Cirrus (beránkový mrak) = 50 až 100 $\mu\text{A} / \text{m}^2$
- Stratocumulus = 100 až 200 $\mu\text{A} / \text{m}^2$
- Sníh = 200 až 300 $\mu\text{A} / \text{m}^2$

4. 1. 2. Indukční jev

Aby se letadlo mohlo za letu nabít indukci, musí letět a musí probíhat triboelektrický jev, kdy se letadlo kladně nabíjí. Dále se potom musí letadlo přiblížit k dalšímu tělesu, které je však neutrální. Vlivem elektrostatického pole letadla dojde u neutrálního tělesa k rozdělení nábojů tak, že proti nabitému tělesu (letadlu) se soustředí náboje opačné polarity a naopak. Tímto jevem dojde na původně neutrálním tělese ke vzniku

indukovaných nábojů obojí polarity. Jak už jsme naznačil, tak naším typickým příkladem je letadlo za letu kladně nabíjející se a k němu je ideálním tělesem bouřkový mrak, který prochází nad letadlem.

Triboelektrickým jevem se letoun vůči zemi dokáže nabít až na $U = 100\,000\text{ V}$. Předpokládáme li, že kapacita draku velkého dopravního letadla může dosáhnout hodnoty až $C = 5\,000\text{ pF}$, potom celková statická energie akumulovaná v draku letadla je dána vztahem: [1]

$$A = \frac{1}{2}CU^2 = 25J$$

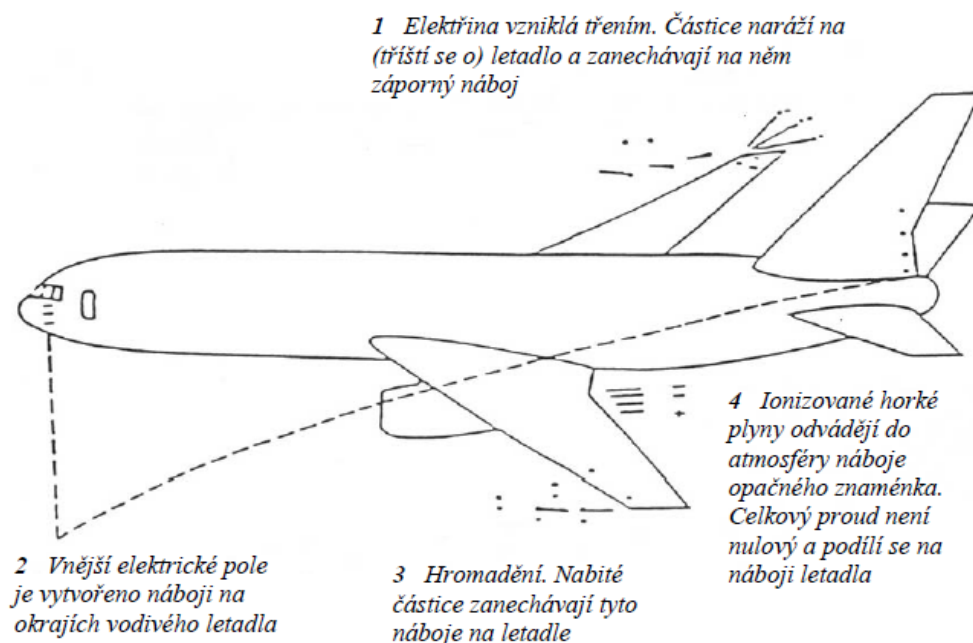
Vzorec 4.1.: Elektrická energie nabitá indukci

4. 1. 3. Nabíjení způsobené spaliny pohonných hmot

Některé pohonné jednotky vypouštějí do atmosféry ionizované zplodiny hoření, které působí na nabíjení letadla. V závislosti na druhu a provozních charakteristikách motoru se dosahuje absolutních hodnot proudu od 0 do $400\mu\text{A}$. V tomto případě nabíjení závisí na povětrnostních podmínkách.

Tento jev je zanedbatelný u letadel poháněných vrtulí. Ale je velmi důležitý u letadel, která mají motory s přídavným spalováním (forsage). Toto nabíjení je výrazné hlavně na malých výškách, při nabírání výšky a nebo rychlé změně režimu motoru a také při letech nad pouští. Zkrátka když má pohonná jednotka velkou okamžitou spotřebu. V některých případech to může pomáhat vybíjení letadla (emise záporných nábojů). [2][4]

Shrnutí všech možných způsobů nabíjení letounu za letu elektrostatickým nábojem, můžeme pozorovat na obrázku 4.1.



Obr. 4.1.: Vznik náboje na letadle za letu [4]

4. 2. Vznik statické elektřiny na zemi

Vznik a statické elektřiny na zemi souvisí hlavně s činnostmi člověka, které probíhají při provozu a údržbě letecké techniky. Ale také se letadlo na zemi může nabíjet vlivem povětrnostních podmínek či srážek. Nejčastějšími situacemi, při kterých se letadlo na zemi nabíjí jsou :

- Čerpání paliva
- Při srážkách
- Indukcí

4. 2. 1. Čerpání paliva

Při plnění letadla palivem vzniká náboj na principu triboelektrického jevu. To znamená, že kladný elektrostatický náboj vzniká dotykem a třením paliva o hadici, filtr, samotný drak letadla a další povrchy a součásti palivového systému. Jelikož je palivo skvělý izolátor, jsou s ním náboje unášeny a mohou se například hromadit na izolovaných částech palivové nádrže, které tak mohou mít proti sobě vysoký potenciál. To představuje velké nebezpečí, neboť pokud dojde k jiskrovému výboji, může dojít ke vznícení paliva a následnému výbuchu palivové nádrže letadla. Ale této tématice se ještě budeme podrobněji věnovat v jedné z dalších kapitol této bakalářské práce. [1][2]

4. 2. 2. Nabíjení při srážkách

Letoun se na zemi může nabíjet, také pokud je vystaven nějakému typu atmosférických srážek a není přikryt žádným nevodivým materiálem. K nabíjení dochází v důsledku dopadu srážek na povrch letadla na principu triboelektrického jevu.

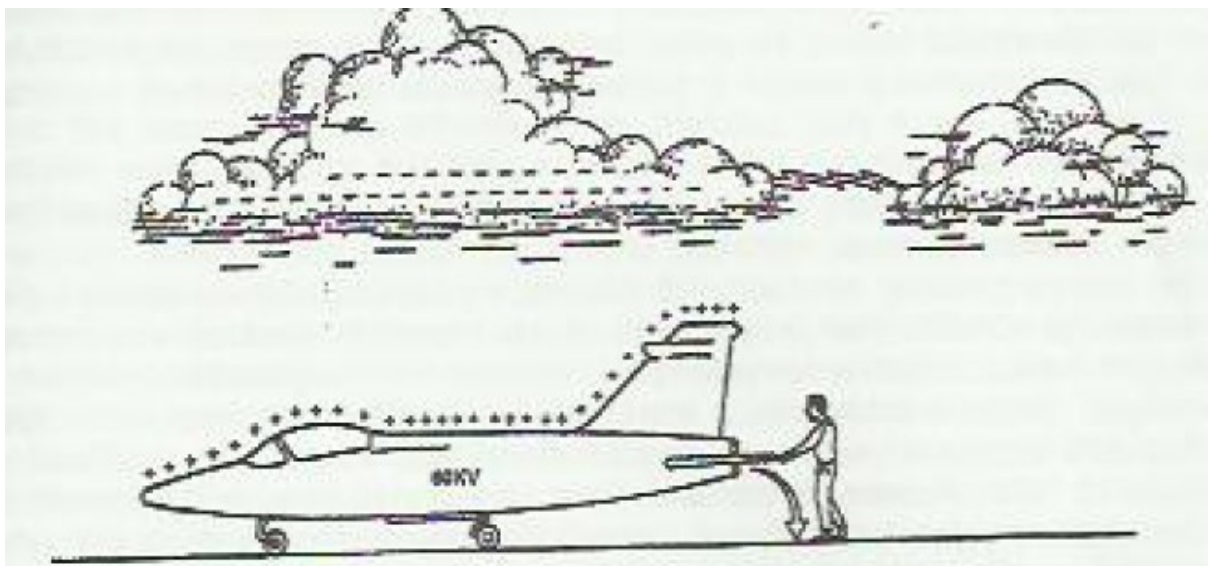
4. 2. 3. Nabíjení indukcí

Nabíjení letadla stojícího na zemi může také probíhat na základě indukčního jevu. Typickým příkladem je, když letadlo stojí na stojánci a někde nad ním se nachází bouřkový mrak. Kladný náboj na parkujícím letadle je vyvolán indukcí ze záporně nabitého bouřkového mraku procházejícím nad letadlem. Tento kladný náboj je přiveden ze země přes pneumatiky letadla a jeho velikost vyvolá napětí mezi drakem letadla a zemským povrchem až $U = 60\text{kV}$. Předpokládáme-li, že kapacita draku proti zemskému povrchu může být u velkého dopravního letadla až $C = 5\,000\text{pF}$.

Celková statická energie akumulovaná v draku letadla je dána vztahem:

$$A = \frac{1}{2} CU^2 = 9J$$

Vzorec 4.2.: Elektrická energie nabitá indukcí



Obr. 4.2.: Vznik náboje indukcí [1]

5. Vybíjení statické elektřiny

Z fyzikálního hlediska probíhá vybíjení statické elektřiny díky nahromadění náboje v určitém prostoru prostřednictvím výboje.

Elektrický výboj definujeme jako proces vyrovnávání potenciálu mezi dvěma elektrodami nabitými různým potenciálem. [2]

5. 1. Druhy výbojů

Nežli se začneme zabývat konkrétním vybíjením statické elektřiny z letadla, měli bychom si něco říct o výbojích obecně. Existuje několik druhů výbojů:

- Korónový výboj
- Eliášův Oheň
- Plazivý výboj
- Jiskrový výboj
- Obloukový výboj

5. 1. 1. Korónový výboj

Druh elektrického výboje v plynech. Vzniká na ostrých hranách elektrod, kde je díky malému poloměru křivosti generováno silné elektrické pole. Samotný výboj hoří jen v okolí těchto hran a dále do prostoru se elektrický náboj přenáší jen za pomoci volných nosičů náboje bez další ionizace a emise záření. Korónový výboj může vznikat na sloupech vysokého napětí, kde slyšíme jeho projevy jako známé sršení.

V našem případě to znamená, že korónový výboj nám bude vznikat na ostrých okrajových hranách vodivých částí letadla, jako jsou například výškovky, směrové kormidlo, odtoková hrana křídla atd. Vybíjecí proud při korónovém výboji na letadle má obvykle přerušovaný průběh, tvoří jej série krátkých impulzů o délce kolem 5ns a amplitudě až 0,2 A.

Korónový výboj si můžeme prohlédnout na obrázku 5.1. vlevo.

5. 1. 2. Eliášův oheň

Eliášův oheň neboli také oheň svatého Eliáše je elektrický jev, generovaný bouřkou nebo sopečným popelem. Tento jev je pojmenovaný po svatém Erasmovi, který byl patronem námořníků.

V některé literatuře tento jev můžeme najít jako součást korónového výboje a někde se o tomto jevu mluví jako hrotovém plazmatickém výboji, k čemuž se více přikláním i já.

Eliášův oheň je tedy ve skutečnosti plazmatický hrotový výboj (viz obr. 5.2.). Elektrické pole kolem objektu září z důvodu ionizace molekul kyslíku a dusíku, což je nejlépe vidět v noci. Aby byl Eliáš generován, jsou zapotřebí jisté podmínky pro napětí – rozmezí 1000-30000 V/cm, ale toto číslo je značně závislé na geometrii předmětu na kterém „Eliáš“ vzniká. Ostré předměty mají nižší požadavky na výskyt ohně svatého Eliáše při stejném napětí v atmosféře. Elektrické pole se soustřeďuje v oblastech s vysokým zakřivením pole a tak jsou intenzivnější na konci špičatých předmětů.

V našem případě dochází k tomuto výboji nejčastěji přes antény umístěné na draku letadla, nebo byly zaznamenány také případy, kdy na velkých letadlech došlo k vybití statické elektřiny Eliášovým ohněm přes vrtule.

5. 1. 3. Plazivý výboj

Tento druh výboje vzniká nahromaděním elektrického náboje hlavně na částech draku letadla vyrobených z izolantů, jako jsou například skla, kryty kabiny z laminátových materiálů a podobně. Hromadění náboje na těchto částech vede ke vzniku tohoto druhu výboje. Plazivý výboj probíhá na nevodivých částech a postupuje k vodivým částem „plazí se“ k vodivým částem konstrukce a realizuje se vodivými kanálky vytvořenými právě nahromaděním elektrostatického náboje.

5. 1. 4. Jiskrový výboj

K jiskrovému výboji dochází nejčastěji ve vzduchu za atmosférického tlaku, při nižším napětí, ale při malé vzdálenosti elektrod, takže intenzita elektrického pole mezi elektrodami je velká, řádově 10⁶ V/m. Jde o průraz vzduchové vrstvy, když byla překročena elektrická pevnost vzduchu (viz obr. 5.1.). Odpovídající napětí mezi elektrodami se nazývá průrazné napětí. Jiskrový výboj má vzhled úzkého, ostře svítícího, vlnícího se a rozvětveného výbojového kanálu, kterým projde řada krátkodobých proudových impulsů. Bývá doprovázen jak světelnými, tak i akustickými projevy.

Blesk

Speciálním případem jiskrového výboje je blesk. Je to přírodní druh jiskrového výboje. Přiblíží-li se kladně nabitý mrak k záporně nabitému, vznikne mezi nimi elektrické napětí, které může dosáhnout takové mohutnosti, že se náboje vyrovnají jiskrovým výbojem -

bleskem. Přiblíží-li se kladně nebo záporně nabitý mrak k zemi, vytvoří se elektrickou indukcí na povrchu opačný elektrický náboj a podobně jako mezi mraky, může dojít k jiskrovému výboji směrem od mraku k zemi nebo od země k mraku. Známe i mraky, v nichž se vytvoří opačné náboje na jeho protilehlých okrajích, které se mohou vyrovnat bleskem i uvnitř mraku. Nejčastěji se náboj mraku vybíjí na vyvýšených místech, jako jsou stromy, věže a kopce.

Tak stejně může dojít k jiskrovému výboji mezi mrakem a letadlem. Proto se nedoporučuje prolétat bouřkovou oblačností. Ochranou před úderem blesku je to, že velká dopravní letadla jsou zkonstruována tak, že se chovají na principu Faradayovy klece. K tomuto pojmu se ještě vrátíme při řešení problémů ochrany posádky a avioniky před statickým výbojem.



Obr. 5.1.: Zásah letadla bleskem [20]

5. 1. 5. Obloukový výboj

Obloukový výboj se jen tak v přírodě nevyskytuje a nevyskytuje se ani při vybíjení statické elektřiny na letecké technice.



Obr. 5.2.: Korónový výboj (vlevo)[17], Jiskrový výboj (vpravo) [16]



Obr. 5.3.: Eliášův oheň na stožáru lodi [18]

5. 2. Proces vybíjení na letecké technice

Jak už bylo naznačeno na začátku této kapitoly, tak vybíjení je důsledkem nahromadění elektrického náboje a zvýšení elektrického potenciálu letadla. K samotnému výboji dojde po dosažení určité meze nabití letadla. Proces vybíjení vede k nastavení elektrického rovnovážného stavu. Výboje můžeme dělit podle toho, kde k nim dochází na:

- Výboje do atmosféry
- Výboje na letadle
- Mezi izolovanými vodivými povrchy
- Na izolačních površích
- Výboje do země

5. 2. 1. Výboje do atmosféry

Pokud bychom si představili nějaké kulové těleso, potom bychom mohli říct, že je elektrické pole rovnoměrně rozloženo po celém jeho povrchu. Jelikož letadlo se tělesu ve tvaru koule nepodobá ani zdaleka musíme počítat s tím, že amplituda pole bude jiná na rovných a jiná na zaoblených částech draku letadla. Obzvláště velká amplituda bude na okrajích draku (na křídlech, ocasní plochy atd.). Jestliže místo dosáhne mezní hodnotu pro výboj do vzduchu, nastane nejčastěji korónový výboj popř. Eliášův oheň. Tento výboj vede k rovnováze náboje na letadle. Jestliže vzrůst potenciálu stále pokračuje, objeví se i další místa kde proběhne výboj. Proces pokračuje tak dlouho, dokud se náboj letadla nesníží pod danou mez. [4]

5. 2. 2. Výboj mezi izolovanými plochami

K tomuto výboji může na letadle dojít, pokud jsou na letadle dvě místa, která jsou od sebe izolované a přitom dosáhnou velkého rozdílu potenciálů. Opět platí pravidlo, že pokud rozdíl potenciálů překročí mez průraznosti, tak dojde k výboji mezi oběma povrchy. Většinou se jedná o jiskrový výboj. [4]

5. 2. 3. Výboje na izolačních površích

Náboje na izolačních površích jsou specifické tím, že se nemohou pohybovat. Růst tohoto náboje vyvolá zvýšení elektrického pole. Jestliže tento náboj dosáhne mez pro vybíjení, vzniknou zde trhané výboje, které budou směřovat co nejkratší vodivou cestou k vodivému povrchu. Forma výboje je plazivý výboj a nejčastěji jej pozorujeme na čelním skle letadla. [4]

5. 2. 4. Výboj do země

Tento typ výboje není tak častý, jelikož je potřeba velkého potenciálu, aby vznikl výboj mezi letadlem a zemí. K tomuto jevu dochází především u vrtulníků v provozním režimu zvedání, kdy může nastat výboj mezi podvěsem a zemí.

Další výboj do země může nastat při přistání, kdy dochází k výboji zbytkového náboje letadla přes pneumatiky do země. [4]

6. Nepříznivé vlivy vybíjení

Elektrostatické výboje provázejí elektromagnetické jevy, které ruší činnost některých elektronických, spojovacích, navigačních a detekčních zařízení. Vysílané spektrum pokrývá široký rozsah kmitočtů a týká se hlavně zařízení, která pracují v rozsazích 10 kHz až 200 Mhz a dokonce až 400 MHz. Taková zařízení, která spadají do této oblasti, ale i další, se týkají:

- Spojovacích zařízení, pracujících na KV, VKV a někdy UKV
- Navigačních přijímačů systémů OMEGA, LORAN, VOR, ILS, a VKV/UKV rádiového kompasu

Parazitní signál je přímo zachycen anténou (Eliášův oheň na samotné anténě) nebo je přijímán nepřímo vazbou přes rušivé zdroje na anténě. [4]

To způsobuje:

- Omezení nebo snížení citlivosti detekčního zařízení
- Rušení spojení s místem, ve kterém je spojení neslyšitelné
- Značné omezení dosahu nebo zobrazení chybové navigační informace

Tyto poruchy, které se často objevují při zhoršených viditelnosti, způsobují vážné problémy v provedení letů. Je nutné připomenout, že čím je letadlo menší, tím je větší nebezpečí, že vazba zdroje výboje na anténu bude závažnější.

Elektrostatický jev může mít také jiné nepříznivé účinky [4]:

- Porucha elektronických zařízení přímým výbojem – průrazem, jak bylo zmíněno v kapitole 3, kdy jsme si popsali, že může dojít k poruše či zničení polovodičových součástek různých obvodů.
- Přenos poruchy přes napájecí síť způsobené výbojem na skle s vyhřívacím obvodem.
- Nebezpečí výbuchu palivových nádrží, kterému se ještě bude tato práce věnovat podrobněji.

Úraz posádky elektrickým proudem. V tomto případě velmi záleží jak velkou energii bude výboj mít. Protože je jasné, že čím větší energie bude, tím půjde o těžší úraz posádky. Pravděpodobné účinky na člověka spolu s hodnotami elektrické energie jsou znázorněny v následující tabulce (Tabulka 6.1.).

Energie v MJ	Účinky na člověka
1	Práh vnímání
28	Slabý šok
40	Lehký šok bez následku
50	Šok v prstech
100	Silný šok bez následku
112	Bolestivý šok
152	Šok citelný v zápěstí
200	Šok citelný v zápěstích a kloubech
250	Těžký šok bez poškození
500	Těžký šok, který způsobuje bolesti svalů, práh ovládnutí pohybu
800	Velmi těžký šok způsobující ztrátu vědomí bez trvalé poruchy
1000	Maximální šok, spojený s úplným bezvědomím, může způsobit i smrt

Tabulka 6. 1. : Účinky elektrické energie na člověka

7. Ochrana člověka a avioniky před statickou elektřinou

Letadla musí být konstruována tak, aby nehrozilo nebezpečí posádce ani nebezpečí poruchy či zničení některého z avionických systémů v důsledku výboje statické elektřiny. Samotná antistatická ochrana letadel je zaměřena na omezení nežádoucích účinků statických výbojů. Při konstrukci, přestavbě či úpravě letadel se musí splnit tři podmínky antistatické ochrany, které jsou dány standardem (Český obranný standard – ČOS 168001). [4]

- Zajistit volný pohyb nábojů vzájemným propojením a uzemněním všech vodivých prvků a tím vytvořit konstrukci draku o stejném potenciálu – elektrická průchodnost.
- Preventivně zabránit lokálním nahromaděním elektrických nábojů použitím příslušné vodivé úpravy celého vnějšího izolačního povrchu. Tato úprava musí zajistit elektrické spojení se sousední kovovou konstrukcí.
- Zajistit řízený tok nábojů použitím statických vybíječů.

7. 1. Propojení, uzemnění a povrchové úpravy draku letadla

Důležitým prvkem primární konstrukce draku letadla je možnost propojení elektrotechnického vybavení letadla a palubních přístrojů a uzemnění všech těchto prvků. To vše je potřeba promyslet už při prvotních návrzích konstrukcí draku letadla. Návrh musí obzvláště myslet na praktické věci, jako jsou servis a údržba systémů draku letadla, aby při práci na letadle byla místa dostupná a bezpečná pro techniky z hlediska výbojů. [1]

Na konstrukci draku letadla rozlišujeme tři typy elektrického spojení [4]:

- Spojení přístrojového vybavení s konstrukcí draku
- Propojení na vodivé části
- Zde jsou problémem antény, které musí být izolovány od všech vodivých částí, aby mohli dobře plnit svou funkci.
- Spoje na svedení statické elektřiny

Účinnost těchto úprav závisí především na vytvoření stejného potenciálu na celé konstrukci draku letadla, to znamená udržení všech vodivých prvků draku letadla na stejné hodnotě potenciálu, aby se nevyskytly místa s velkým rozdílem potenciálů, kdy by mohlo dojít k výboji. [4]

Tyto úpravy v sobě zahrnují povrchové úpravy draku z vnější strany. Skládají se z

kovového potahu, vodivého potahu, vodivé barvy a vodivé úpravy izolačních povrchů a zařízení.

Cílem povrchové úpravy povrchu letadla je zajistit celopovrchovou vodivost vnějšího obalu, aby bylo zabezpečeno vybíjení náboje z celého povrchu draku letadla pomocí statických vybíječů, kterým se ještě budeme věnovat podrobněji.

Povrchovými úpravami mám na mysli úpravy: [4]

- hlavního potahu,
- vnějších izolačních povrchů,
- vnějších zařízení.

Těmito úpravami máme na mysli například:

- Na hlavním potahu, obvykle řešíme nanášení ozdobných prvků, poznávacích znaků nebo ochrany, tyto úpravy provádíme s ohledem na vodivost materiálů a místní výboj.
- Ochrana izolačních materiálů draku letadla je založena na vodivé úpravě povrchu.

Možné postupy jsou: [4]

- nanesení oxidů nebo solí (použití pro sklo),
- nanesení hliníku sprejem,
- použití vodivých barev (u povrchů s nízkým odporem),
- použití antistatických barev (u povrchů s vysokým odporem).
- Problémové se můžou zdát opticky průhledné povrchy, na kterých, jak už jsme říkali, může probíhat triboelektrický jev, obzvláště potom čelní sklo kokpitu. Čelní skla jsou někdy předmětem luminiscenčních výbojů, které ruší (obtěžují posádku). Větší problém nastává, jsou li okna vybavena topnou mřížkou, potom elektrické výboje na čelním skle mohou způsobit vysoké přepětí v napájecí síti a důsledkem může být i poškození nebo zničení přístrojů připojených k této síti.
 - Tento problém se řeší galvanizací povrchu průhledného materiálu jemným filmem zlata, oxidem kovu nebo oxidem soli. Po úpravě musí sklo vyhovovat požadavkům optické průhlednosti a musí mít odpovídající mechanickou pevnost, aby odolávalo erozi a opotřebení způsobenému stěrači.
 - Doporučuje se, aby se vodivá úprava použila na všech průhledných površích, které jsou vystaveny nárazům vzduchu, dokonce i u malých antikolizních světel.
 - Na rozdíl od čelního skla jsou okýnka cestujících dobře kryta a triboelektrický

jev se zde objeví jen zřídka spíše vůbec.

Na letadle jsou ještě ostatní povrchy například ze sklolaminátových kompozitových materiálů, a nemají žádné speciální elektromagnetické či optické vlastnosti. Těmito povrchy se myslí například vstupní otvory, okrajové oblouky křídel, přechody mezi trupem a křídlem atd. Povrchový odpor použité úpravy je omezen pouze maximální hodnotou ($R < 100 \text{ M}\Omega / \text{m}^2$), aby se zajistil správný tok nábojů. [4]

Dalšími úpravami procházejí také zařízení, která jsou připevněná na vnější potah letadla. Zejména se jedná o antény, které musí být izolovány, aby dobře plnili svou funkci a nebyly rušeny elektrickým polem vodivých částí kolem. Nejčastěji se v letectví používají antény s izolačním krytem, klasické prutové antény nejsou v letectví doporučovány.

Neoddělitelnou součástí každého letadla jsou polohová a antikolizní světla, která jsou také připevněna na konstrukci draku. Tato světla mají kryty ze skla nebo plastu a doporučuje se, aby byla pokovená. V případě použití skla je řešení stejné jako u čelního skla letadla. [4]

7. 2. Statické vybíječe

Jedním z prvků, které se při každé prohlídce či servisu letadla kontrolují, jsou statické vybíječe. Použití těchto vybíječů je možné pouze, pokud letadlo splňuje podmínku, že je zkonstruováno jako ekvipotenciální plocha. Za tohoto stavu lze výboje do atmosféry řídit použitím právě statických vybíječů. [4][2]

Statický vybíječ můžeme popsat, jako válcovitou trubičkou, ve které je vodič. Trubička je zakončená takovou gumovou zátkou. Řízené vybíjení probíhá přes vodič do atmosféry.

Statické vybíječe využívají vlastností elektrického pole, které jsou popsány Coulombovým zákonem. A z něj vyplývá, že pokud má vodič ostré hrany nebo rohy (tzn. velkou plošnou hustotu náboje). S jistotou můžeme říct, že náš vybíječ tuto podmínku splňuje. Potom složky gradientu potenciálu mají v těchto místech velkou hodnotu, takže i složky vektoru elektrické intenzity jsou velké. Toto se projeví tím, že silné elektrické pole začne vytlačovat volný náboj z povrchu vybíječe do okolí. Tento jev se nazývá „sršení náboje“.

Vybíječ by měl mít tyto vlastnosti: [2]

- Musí být dostatečně účinný, aby odvedl všechnen přebytečný náboj a nemohl se na něm objevit korónový výboj.
- Musí mít co nejnižší zápalné napětí, aby energie odváděného výboje byla co nejmenší.
- Musí mít nízkou vazbu s anténami, aby přenos rušivých signálů byl co nejmenší a antény tak mohly vykonávat funkci, ke které jsou na letadle nainstalovány.

Ke splnění této úlohy samozřejmě nebude stačit jeden vybíječ. Místo, počet a druh vybíječe zabezpečujeme pomocí daných pravidel uvedených ve standardech, jedním z nich je už jednou zmiňovaný Český obranný standard 168001. V dřívější době se používali k těmto úkonům vakuové komory, kde se namodeloval tlak výšce odpovídající optimální cestovní výšce letadla a přivede se napětí na model. Poté se ještě pomocí mnoha experimentů simuloval dynamický stav letadla. Dnes se tyto problémy, které jsou přesně vyjmenovány níže, řeší aplikací empirických výpočtů, tak jak budou popsány v dalších odstavcích této práce.

K návrhu sítě statických vybíječů je zapotřebí:

- Zhodnotit celkový proud náboje
- Určit celkový počet vybíječů elektrostatické elektřiny, které mají být nainstalovány
- Určit typ vybíječe
- Určit rozmístění vybíječů na letadle



Obr. 7.1.: Statický vybíječ s popiskem

7. 2. 1. Celkový proud náboje

Celkový proud náboje se určí použitím následujícího empirického matematického výrazu: [4]

$$I_G = I_C \cdot S_A \frac{V}{600}$$

Vzorec 7.1.: Výpočet celkového proudu [4]

Kde	I_G	=	celkový proud [μA]
	I_C	=	proudová hustota náboje [$\mu A/m^2$]
	S_A	=	čelní plocha letadla [m^2]
	V	=	rychlost letadla [uzly]

I_C je nejpravděpodobnější maximální hodnota a můžeme tedy uvažovat 300 $\mu A/m^2$, jestliže bereme v úvahu hodnoty, které byly uvedeny v kapitole 4. Hodnota 400 $\mu A/m^2$ se téměř nevyskytuje a dalo by se o ní hovořit snad při průletu sopečným popelem.

Tento výraz vyhovuje dobře pro lehká letadla a pro letadla střední hmotnosti. Pro těžká letadla je hodnota proudu mírně vyšší. [4]

7. 2. 2. Celkový počet vybíječů

Celkový počet instalovaných vybíječů je dán výrazem:

$$N = \frac{I_T}{I_D}$$

Vzorec 7.2.: Celkový počet vybíječů

kde	N	=	celkový počet vybíječů
	I_T	=	celkový vybíjecí proud
	I_D	=	minimální proud vybíječe

Pro I_D se používá hodnota 50 μA . [4]

7. 2. 3. Výběr typu vybíječe

Nyní už známe počet vybíječů a v tomto kroku si už musíme jenom vybrat mezi dvěma hlavními typy vybíječů. A ty se rozlišují podle umístění na: [4]

- Vybíječe na odtokové hraně (křídla, kormidel atd.)
- Vybíječe na vnějším okraji

Tyto vybíječe jsou konstrukčně řešeny jako snímatelné prvky, které jsou všeobecně přichyceny na zvláštní držáky.

Aby byly vybíječe dostatečně účinné, potom záleží na následujících charakteristikách:
[4]

- vhodná voltampérová charakteristika,
- vysokofrekvenční rušení při vybíjení,
- velikost plynulého vybíjecího proudu,
- přerušení elektromagnetické vazby při výboji,
- stejnosměrný odpor:
 - u instalace na odtokové hraně od 6 MΩ do 200 MΩ,
 - u instalace na vnějším okraji od 6 MΩ do 120 MΩ.

7. 2. 4. Rozmístění vybíječů

Dříve jmenovaným standardem (ČOS 168001) jsou doporučovány tyto zásady pro rozmístění statických vybíječů na letadle: [4]

Vybíječe se musí umístit na vnější okraje a na takové odtokové hraně povrchů, která vykazuje maximální sršení z hrotu, jako jsou např. křídlo, vertikální a horizontální ocasní plochy.

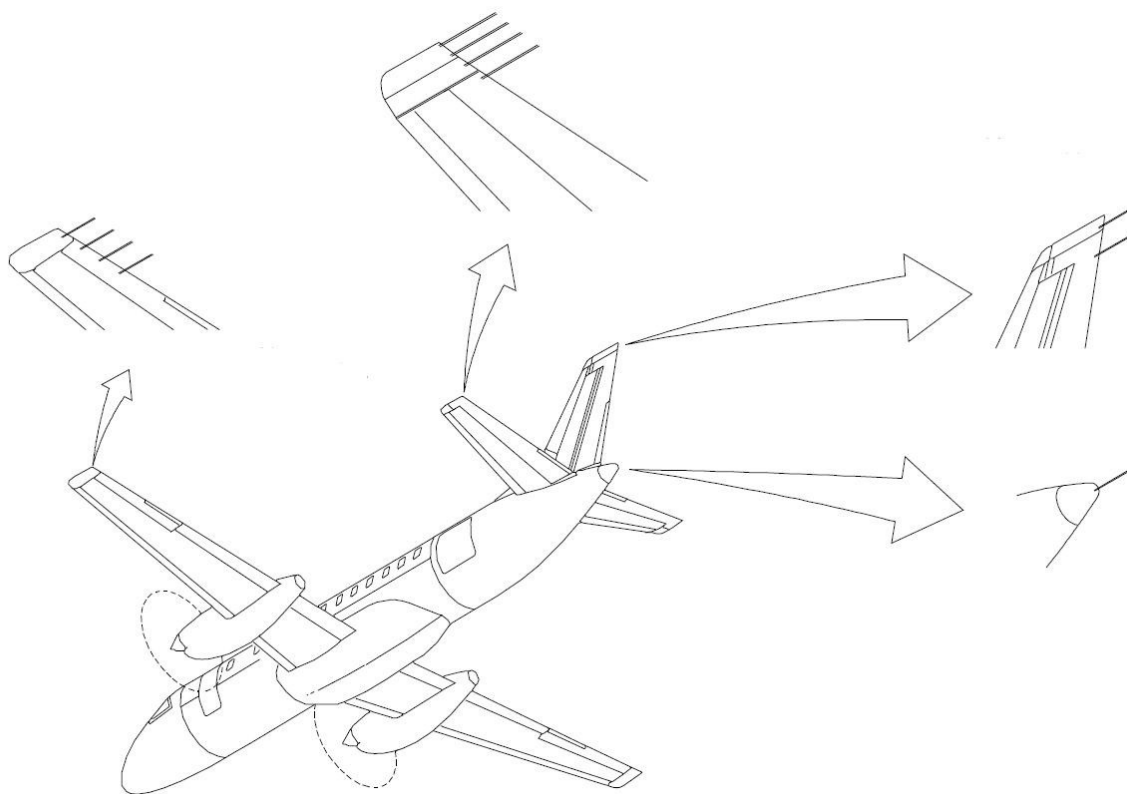
Při rozmístění se musí vzít v úvahu vzdálenost uvažovaného prvku vzhledem ke středu letadla. Například v případě klasického tvaru letadla se použije rozmístění, které je ve většině případů shodné s tím, že se zvažuje umístění na 5 vnějších okrajích. Tento počet se zvětší o vybíječe určené pro střed křídel, které jsou relativně ve větší vzdálenosti.

Mohou však existovat další prvky, jejichž vyčnívající poloha vyžaduje připevnění vybíječů. Tímto způsobem se lze vyhnout vzniku neřízených výbojů, např. Aerodynamické přechody ovládání přistávacích klapek pod křídlem, Pitotova trubice atd.

Pečlivé prověření geometrie umožní zjistit a chránit kritické body.

Korónový výboj se může rovněž objevit předčasně v zónách aerodynamického podtlaku. To je případ pro vnější okraje křídel a ocasních ploch, které jsou chráněny tak zvanými okrajovými vybíječi.

Rozmístění statických vybíječů na letounu SAAB 340 můžete sledovat na obrázku 7.2.



Obr. 7.2.: Rozmístění statických vybíječů na letounu S340 [19]

7. 2. 5. Pravidla pro instalaci vybíječů

Doporučuje se dodržet následující technické zásady:

Vybíječe na odtokové hraně: [4]

- musí být připevněny co možná nejbliže k odtokové hraně,
- největší vybíječ se musí umístit na okraj určené plochy,
- odstup mezi dvěma následujícími vybíječi nesmí být menší než 300 mm,
- podélná osa každého vybíječe musí být souhlasná se směrem aerodynamického proudění,
- na pohyblivé ploše, např. výškovka, mohou být vybíječe připevněny střídavě na jedné a na druhé straně pro vyvážení účinků,
- elektrické propojení držáku vybíječe statické elektřiny s konstrukcí musí zajistit správný odpor ukostření (1Ω nebo menší) a účinnou ochranu proti korozi.

Vybíječe na vnějších okrajích:

Tyto se musí umístit v místech nejvyššího aerodynamického podtlaku při respektování shora uvedených pravidel v posledních dvou bodech technických zásad vybíječů na odtokové hraně. [4]

Zvláštním případem mohou být vybíječe umístěné na izolačních konstrukcích (okrajové oblouky křídel) musí být připojeny k vodivé vrstvě nebo k nejbližší kostře, např. Použitím kostřících pásků vyrobených obvykle z mědi. [4]

7. 3. Ochrana před bleskem

Primární konstrukce draku letadla, která má jednotlivé části propojeny vodivými nýtovými nebo šroubovými spoji je sama o sobě postačující pro svedení elektrického náboje po zasažení letadla bleskem. Jenomže existují i některé části draku, které potřebují specifické propojení, jedná se o gondoly motorů, řídicí plochy a antény, Tyto části draku vyžadují dodatečné propojení s primární vodivou konstrukcí draku, protože kdyby došlo k zásahu této části bleskem, potom by to mohlo zásadním způsobem ovlivnit ovladatelnost letadla. Toto propojení se realizuje pomocí měděných pásů. Přičemž na každé uložení připadá jeden pás, ale pokud se jedná o řídicí plochy, musíme nainstalovat pásy dva. Hrozí li do dané části několikanásobný úder blesku a následné zkratování, potom instalujeme pásy odolnější (větší). Při instalaci musí technik dát pozor, aby se pásy nepřekřížili nebo se nezahnuly tak, že někde tvoří ostré hrany. Pokud by tomu tak bylo, mohlo by dojít k přetržení pásů působením induktivních sil při přechodu elektrostatického náboje.

Zbytek akumulovaného elektrostatického náboje, který zbyl v primární konstrukci draku letadla, se zpravidla vybije při přistání letadla přes jeho pneumatiky, které musí být vodivé. Nestane li se tak, potom je zapotřebí použít jiných na to určených postupů při práci na letecké technice na zemi.



Obr. 7.3.: Srovnání vybíječe v pořádku (horní) s vybíječem, kterým prošel blesk (dolní)

8. Statická elektřina při práci na letecké technice

V této kapitole se pokusím přiblížit všechny aspekty práce na letecké technice s ohledem na nebezpečí elektrostatického výboje a tím i ohrožení přístrojů či zdraví lidí pracujících v okamžiku vybití na letecké technice.

8. 1. Ochranné prostředky pro práci na letecké technice

Ochranné prostředky proti statické elektřině slouží lidem pracujících na letecké technice, aby nedošlo k vybití elektrostatického náboje. A tím by mohlo dojít k poškození či zničení přístroje nebo hůř k úrazu technika pracujícího na letadle.

Ochrannými prostředky mám namysli:

- Antistatické oblečení
- Ochranné pracovní pomůcky
- Antistatické prostředí

8. 1. 1. Antistatické oblečení

Lidské tělo dokáže akumulovat statickou elektřinu v suchém prostředí o hodnotě napětí až několik stovek voltů. Jelikož se pohybujeme v prostředí citlivém na statickou elektřinu, musí všechny osoby pracující na letecké technice používat výhradně antistatické pracovní ochranné pomůcky.

Největší elektrostatický náboj vzniká při chůzi. Tento náboj vzniká při styku boty a země. Proto jedním z nejdůležitějších prvků antistatické ochrany jsou antistatické boty.

Obuv

Antistatické boty se používají tehdy, je – li zapotřebí, aby se nebylo nebezpečí jiskření při vzniku elektrostatického náboje třením podrážky boty o podlahu. A také je používáme tehdy, není li zcela vyloučen úraz elektrostatickým výbojem.

Antistatická obuv je většinou vyrobena tak, že svršek boty a podešev je disipativní. Podrážka, která slouží jako uzemňovací prvek, je buď elektrostaticky vodivá po celé ploše, nebo jenom v kontaktních bodech.

Na trhu jsou k dostání v několika možných provedeních od vzdušných sandálů, přes pevné kotníkové boty až po holinky. K antistatickým botám existuje i alternativní řešení ve

formě jednorázových antistatických pásku na obuv, které se jednoduše nalepí ze spodní strany na podrážku a z normální boty se rázem stane antistatická obuv.

Oděvy

Oblečení od triček přes ochranné pláště až po montérkové overaly či komplety (blůza + kalhoty) se používají, aby zamezili tvoření elektrostatického náboje na povrchu lidského těla třením oděvu o pokožku. To, že při třením o povrch lidského těla vzniká elektrostatický náboj, se můžeme přesvědčit jednoduchým pokusem. Pokus provedeme tak, že si vezmeme kousek látky (klasické látky ne z antistatického materiálu) a rychle s ním přejíždíme přes vlasy tam a zpět, poté jej zvedneme a pozorujeme, že vlasy se staví směrem ke kusu látky. Tento jev je způsoben tím, že látka je nabitá záporně a vlasy kladně a jak jistě všichni víme, že protikladné náboje se přitahují. Potom i látka přitahuje vlasy.

Antistatické oděvy jsou vyrobeny ze standardních látek (bavlněných, polyesterových), do kterých je vetkáno kovové elektricky vodivé vlákno. Tato složení zajišťuje požadované antistatické vlastnosti. Podíl vlákna a rezistence udávají výslednou rezistivitu (měrný elektrický odpor) látky. Nejčastěji se do standardních látek vetkává uhlíkové vlákno.

Rukavice

Antistatické rukavice používají technici pracující na letecké technice jen zřídka kdy, protože jak všichni víme, v rukavicích nemáme cit a ten je při opravování citlivé letecké techniky zapotřebí. Vždyť v zimě pokud máte například kožené rukavice a chcete si zavázat tkaničku od bot, tak zjistíte, že si rukavice musíte sundat, aby se vám tento zdánlivě banální úkol povedl. A teď si představte, že chcete renovovat nějakou síť kabeláže, kdy kabel je třeba o průměru 1 – 2 mm. Obvykle technici používají antistatické rukavice v těžko dostupných prostorách, kde by byla obtížná manipulace s antistatickým náramkem, o kterém se ještě zmíním.

Antistatické rukavice jsou vyrobeny na stejném principu, jako každé jiné oděvy potom jenom záleží, jaký typ rukavic chceme použít, a to se odvíjí od toho, k jakému úkonu rukavice chceme použít. Rozlišujeme rukavice klasické (např. rukavice 100% PES s uhlíkovými vlákny) a potom existují rukavice s polyuretanovou výplní na dlani či na konečcích prstů (např. rukavice s vodivé nylonové příze s polyuretanovou vrstvou na dlani).



Obr. 8.1.: Antistatické rukavice

8. 1. 2. Ochranné pracovní pomůcky

Jsou to pomůcky, které slouží k uzemnění buď člověka, nebo například místa, kde člověk pracuje na nějaké letecké technice, kterou vymontoval z letadla a odnesl si ji do laboratoře (dílny). Uzemnění je v každém případě důležité, kdyby se technik zapomněl uzemnit nebo pokud by zapomněl uzemnit nějakou neuzemněnou část například stolu, na kterém s citlivou technikou pracuje, mohlo by dojít k výboji a zničení přístroje případně k šoku technika po zasažení elektrostatickým výbojem.

Antistatický náramek

Je to nejpoužívanější věc pro ochranu citlivých součástek před zničením elektrostatickým výbojem. Konstrukčně to je vodivý náramek, který se nejčastěji pomocí suchého zipu připevní na zápěstí a od něj vede propojovací kabel zakončený klešťovou svorkou k uzemnění (viz obr. 8.2.). Propojovací kabel se nejčastěji dodává s hodnotu svodového odporu $1\text{M}\Omega$.



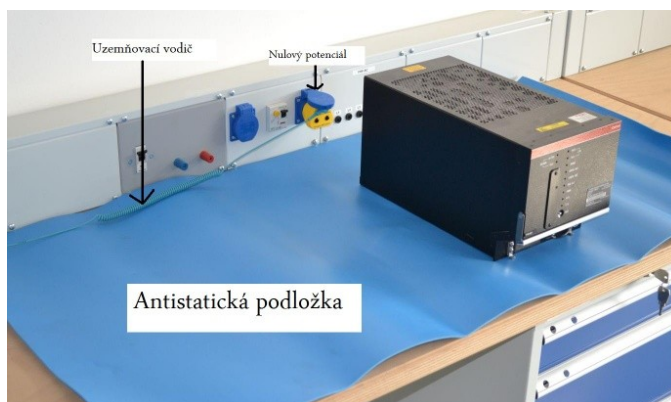
Obr. 8.2.: Antistatický náramek

Antistatická podložka

Je to podložka, která se používá, když jsme si nějakou citlivou součástku vymontovali z letadla a potřebujeme si ji někde položit a opravit (viz obr. 8.3.). A nemáme zrovna k dispozici uzemněné prostředí laboratoře (dílny).

Antistatická podložka je obvykle dvouvrstvá, horní vrstva je disipativní a horní vrstva

podložky je konduktivní. Na podložce je zabudovaný konektor, do kterého se připojí propojovací kabel a ten se buď připojí na zemnicí síť laboratoře nebo pomocí klešťové svorky na kostru letadla či jiné místo s nulovým potenciálem.



Obr. 8.3.: Antistatická podložka

8. 1. 3. Antistatické prostředí

Pojmem antistatické prostředí mám na mysli prostředí dílny, kde stačí mít oblečen antistatický oděv a neřešit další otázky týkající se ochrany sebe a avioniky proti výboji statické elektřiny.

Součástí antistatického prostředí by měly být :

- Uzemněný podlahový povrch
- Technická opatření, která zajišťují optimální podmínky v pracovním prostředí
- Antistatické stoly
- Uzemňovací síť

Uzemněný podlahový povrch

Je to povrch, který je schopen odvádět elektrostatické napětí. Tento povrch je obvykle z vodivého materiálu a napětí se z něj odvádí kabelem, který je napojený na místo s nulovým potenciálem (viz obr. 8.4).



Obr. 8.4.: Uzemnění podlahy

Technická opatření, která zajišťují optimální podmínky v pracovním prostředí

Optimálními podmínkami mám na mysli vlhkost a teplotu vzduchu, které přispívají ke snížení možnosti vzniku elektrostatického napětí. Toto se provádí klasickými systémy klimatizací a regulátorů vlhkosti vzduchu.

Antistatické stoly

Jsou to stoly s uzemněným nohama a se zabudovaným antistatickým náramkem. A zdírkou, do které lze připojit další náramek nebo například antistatickou podložku. Tento stůl je uzemněný pomocí uzemňovací sítě

Uzemňovací síť

Tímto pojmem mám na mysli klasickou síť složenou z vodičů, které vedou do místností, které je potřeba uzemnit a jejich druhý konec je připojen místu s nulovým potenciálem. Obvykle to je síť zásuvek podobných klasickým zásuvkám 230 V akorát místo proudu se připojíme na nulový potenciál.

8. 2. Práce na letecké technice

Jak víme z kapitoly 3, tak v dnešních letadlech se používají přístroje tzv. třetí generace, které se skládají z mnoha polovodičových součástí náchylných na statickou elektřinu. Z tohoto důvodu musí obsluha dbát určitých postupů, aby nepoškodila či zcela nezničila daný přístroj elektrostatickým výbojem. Dále také musí samozřejmě dbát na svou bezpečnost. A bezpečnost všech kolem sebe. Neboť jak už jsem zmínil, důsledkem elektrostatického výboje může dojít a už také bohužel došlo ke katastrofě.

K výboji totiž nemusí dojít jenom na letadle samotném, ale při práci na letecké technice může dojít k výboji mezi člověkem a letadlem, pokud je člověk nabitý nábojem. Člověk se nabíjí elektrostatickým nábojem úplně jednoduchým způsobem, stačí, aby si svlékl mikinu s umělých vláken, otřel se o něco nebo se jenom něčeho dotkl. Nabíjí se také při chůzi, s toho vyplývá, že se vlastně nabíjí pořád.

Proto jsou stanoveny určitá pravidla pro práci s leteckou technikou na zemi. Mohou to být tyto úkony.

- Údržba drakových systémů
- Manipulace, oprava elektronických systémů
- Čerpání paliva do letadla

Základním pravidlem, které musí dodržet obsluha či technici při všech úkonech, je nošení antistatického oblečení.

8. 2. 1. Údržba drakových systémů

Údržbou drakových systémů mám na mysli údržby všech vnějších systémů, které na letadle jsou. Patří mezi ně řídicí plochy (klapky, stabilizátor, balanční křídélka a další), další skupinou systémů draku letadla jsou přístroje připojené k draku, jako jsou antény, světla atd.

Při údržbě musí být letadlo v hangáru uzemněno (viz obr.8.5.). Uzemnění se provádí kabelem připojeným na nulový potenciál zakončeným klešťovou svorkou a ta se připojí obvykle k vodivé části podvozku. V hangárech servisních firem velkých letadel je obvykle síť vedená pod podlahou, kde je možnost připojení jak k síti elektrické energie, tak zde najdeme i připojení na nulový potenciál (jako například v hangáru Job air technic a.s. na letišti v Mošnově).



Obr. 8.5.: Uzemnění letounu stojícího v hangáru

Všichni technici pracující na údržbě draku letadla musí být samozřejmě oblečeni v antistatickém oblečení.

Další věc, na kterou musí údržba dávat pozor při údržbě draku letadla, je barva, kterou jsou na letadle vyobrazeny volací znaky, reklama nebo jiné ozdobné prvky na trupu letadla. Tyto povrchy jsou ještě upraveny metalizací nebo jinou vodivou úpravou, protože barva je izolátor. Problémem je, že vodivé materiály, izolované od konstrukce nátěrovou barvou, vytvářejí kondenzátor, který se bude vybíjet přerušením izolační vrstvy. A pokud by došlo k porušení té metalizované vrstvy spolu s vrstvou barvy nějakým neopatrným mechanickým zásahem, mohlo by za letu dojít k nebezpečnému vybíjení elektrostatického náboje.

Všechny demontované části draku letadla musí být odkládány do antistatického prostředí popřípadě na antistatickou podložku.

8. 2. 2. Manipulace a oprava elektronických systémů

Tuto část údržby letadla bych rozdělil na dvě části :

- oprava a údržba sítě kabeláže letadla
- údržba výměnných bloků LRU (line replacement unit)

Oprava a údržba sítě kabeláže

Nejčastěji se jedná o kabeláž vedoucí k palivovým nádržím ukrytých v křídlech letadla. Tato kabeláž je nebezpečím pro palivo a nesmí na ní v žádném případě dojít ke zkratu, a proto se tyto kabely zastiňují pomocí síťky z vodivého materiálu (vytvoření Faradayovy klece – poznámka 3). Tato síťka musí být vždy ve stavu, kdy zcela chrání okolí před působením elektrického pole kabelů. Proto je zapotřebí častá údržba této kabeláže.

V situacích, kdy je nutná údržba této kabeláže, musí být dodržena následující pravidla:

- letadlo musí být vždy uzemněno kabelem k nulovému potenciálu ihned po přivlečení do hangáru,
- technik by měl být oblečen v antistatickém oděvu, mít antistatickou obuv a při údržbě používat antistatický náramek připojený na nulový potenciál.

Jak je tato údržba a dodržování všech pravidel důležité, nám může připomenout bohužel jenom nějaká katastrofa. Jedna taková se stala 17. července 1996 na letounu B747 – 100 společnosti Trans World letícím na lince číslo 800 z letiště JFK v New Yorku do Paříže. Krátce po startu (ve fázi vzletu) vybuchla hlavní palivová nádrž a všech 212 osob na palubě zahynulo v plamenech boeingu. Příčina nehody byla dlouho zkoumána a závěrem vyšetřovacího týmu bylo, že vinou špatné kabeláže z palivového čerpadla vznikl elektrostatický náboj, který zapříčinil výboj a následný výbuch nádrže.

Poznámka 3 – Faradayova klec

Faradayova klec neboli válec je pojmenovaná po anglickém fyzikovi Michaelu Faradayovi. Tuto zákonitost však objevil anglický fyzik Henry Cavendish. Její princip je založen na tom, že elektrický náboj je soustředěn pouze na povrchu vodiče, nikoli v jeho objemu. Tudíž uvnitř vodiče nepůsobí žádné elektromagnetické pole nebo elektrické pole.

Údržba výměnných bloků LRU

Výměnné bloky LRU jsou uloženy v tzv. „srdci letadla“, kde jsou umístěny počítače všech důležitých systémů pro bezstarostný let. Mezi tyto počítače přístrojových systémů patří například: TCAS (ACAS), GPWS, FMC, NCU, a další.

Výměnné bloky LRU jsou složeny jako každý počítač z mnoha polovodičových součástek a jak víme, polovodičové součástky jsou velice náchylné na jakýkoliv elektrostatický výboj. Cena těchto přístrojů se pohybuje ve stovkách tisíc někdy i v milionech korun. Z tohoto důvodu musí technici dodržovat přísná pravidla pro údržbu a manipulaci s výměnnými bloky.

Postup pro demontáž a případnou údržbu je popsán v následujících bodech:

Uzemnit letadlo

Vypnout palubní elektrickou síť

To znamená odpojit hlavní baterie (main batteries) a také přerušit spojení s GPU (grand power unit), aby do letadla nepřicházel elektrický proud a zamezilo se tak úrazu či zničení přístroje.

Vytáhnout jistič

Tento úkon se provede v kokpitu letadla, na přístrojové desce jističů, kde se nacházejí jističe od všech přístrojů připojených na elektrickou síť.

Zajistit jistič proti sepnutí

Jistič se zajistí proti svévolnému sepnutí nebo proti sepnutí jinou osobou. Zajištění se provádí červeným gumovým kolečkem, které se vloží pod jistič.

Použít antistatický náramek

Antistatický náramek si technik umístí na zápěstí a připne jej klešťovou svorkou k vodivé části letadla. Všechny vodivé části letadla jsou propojeny s primární konstrukcí. Primární konstrukce je uzemněná.

Povolit blok

Pokud jsme vykonali všechny předchozí body tohoto postupu, můžeme začít povolovat šrouby výměnného bloku. Po povolení šroubů blok opatrně vytáhneme. Při vytahování dáváme velký pozor na mechanické poškození bloku.

Zaslepit konektory

Po vyjmutí je důležité zaslepit konektory bloku, aby nedošlo ke zkratování konektorů nebo případnému výboji. Zaslepení konektorů se provede buď zaslepovacími bloky z umělé hmoty, které se přicvaknou na konektor. Nemáme-li k dispozici zaslepovací blok velikosti našeho konektoru, použijeme antistatickou pásku.

Odnést výměnný blok do vhodného prostředí

Máme-li zaslepené konektory, můžeme LRU odnést do laboratoře (dílny), kde chceme provést údržbu či kontrolu. Při přenosu dbáme zvýšené opatrnosti, aby se výměnný blok nedotkl žádné jiné vodivé části a nemohlo tak dojít k elektrostatickému výboji. Transport LRU se doporučuje provádět v antistatickém pytli. Pokud chceme pracovat na LRU, musíme tak učinit na antistatickém stole nebo na stole s antistatickou podložkou připojenou na nulový potenciál.

Další manipulace s náramkem

Pokud opravdu provádíme údržbu výměnného bloku, musíme mít na ruce připnutý náramek, který je připojen k nulovému potenciálu. Obvykle je přípojka k nulovému potenciálu přímo na antistatickém stole.

Uskladnění / Navrácení LRU do letadla

Chceme-li uskladnit LRU ve skladu, musíme zaslepit konektory (zaslepovacími bloky nebo páskou) a vložit výměnný blok do antistatického transportního pytle. Když splníme tyto podmínky, můžeme jej uložit do skladu nejlépe na nějakou molitanovou podložku, aby nedošlo k mechanickému poškození bloku.

Chceme-li vrátit LRU zpět do letadla, musíme postupovat dle tohoto postupu pozpátku. Hlavně nesmíme zapomenout zkontrolovat, jestli je pořád vytažený jistič daného přístroje a jestli je letadlo uzemněné. Dále musíme dbát na to, abychom manipulovali s LRU v letadle pouze s antistatickým náramkem. Konektory odslepujeme až těsně před vrácením na původní místo.

Tento postup platí nejen pro manipulaci s výměnnými bloky, ale i pro práci na kterémkoliv komponentu citlivým na statickou elektřinu. Například na komponentech s tištěnými spoji a podobně.

Na všech komponentech, které jsou náchylné na působení statické elektřiny, jsou umístěny nálepky s nápisem upozorňujícím na citlivost daného komponentu. Popřípadě

nálepka s názornou značkou.

8. 2. 3. Čerpání paliva

Při čerpání paliva vzniká kladná elektrostatický náboj při tření paliva o plnicí hadici, filtr a ostatní povrchy palivového systému. Jelikož je palivo dobrý izolátor, náboje jsou s palivem unášeny a mohou se nahromadit na izolovaných částech nádrže. Tomuto jevu by měla zabránit povrchová úprava nádrže. Aby nedošlo k vybíjení náboje vznikajícího na povrchu hadice, musí se při plnění paliva do letadla dodržovat určité zásady.

Plníme-li palivem letoun větší kategorie (S 340, B 737...), měli bychom pro plnění použít plnicí cisternu s čerpadlem. Pro toto plnění dodržujeme tyto zásady:

- Letadlo by mělo být uzemněno
- Plnicí cisterna se v první řadě musí propojit s primární kostrou draku letadla (zemní obvod letadla)
- Obsluha čerpání paliva musí být oblečena v antistatickém oděvu
- Obsluha musí být proškolená v oblasti nebezpečí statické elektřiny

Při plnění menších letadel (Beachcraft, C 303 atd.) na menších letištích se obvykle používají pozemní nádrže s leteckým benzínem, protože na letišti není dodavatel leteckého benzínu. Plníme-li malé letadlo stylem, že načerpáme z pozemní nádrže benzín do menšího kanystru a poté z kanystru lijeme benzín do nádrže, musíme dodržovat tyto zásady:

- Máme oblečen antistatický oděv
- Letadlo **musíme uzemnit** k nulovému potenciálu
- Zabráníme osobám v okolí kouřit
- Měli bychom použít kanystr z vodivého materiálu
- Pro přelití benzínu s kanystru do nádrže použijeme trychtýř také z vodivého materiálu
- Potřebujeme-li si kanystr položit vedle nádrže, dáme pod kanystr nějakou vodivou podložku
- Snažíme se regulovat tok benzínu (spíše vlévat pomaleji)

Dodržujeme-li tyto zásady, nemělo by dojít k nehodě stejné, jako 5. května 2000 na letišti v Bělehradě, kdy bylo plněno letadlo typu Beachcraft (YU BHK) v jednom z hangárů letiště. Obsluha plnila letadlo 10 litrovým kanystrem, který plnila z 200 litrového barelu. Pokaždé, když obsluha přišla s kanystrem k letadlu, položila jej vedle víka od nádrže na

látkovou podložku (aby nebyl poškrábán lak). Obsluha na sobě neměla antistatický oděv a pokaždé když vlévala benzín do nádrže šoupala kanystrem po látce, kde vznikl jiskrový výboj mezi člověkem a látkou, který zapálil výpary benzínu v kanystru a následně i v palivové nádrži. Došlo k výbuchu, obsluha výbuch nepřežila a požár zničil další dvě letadla.

9. Výukový program

Hlavním úkolem této bakalářské práce je vypracovat výukový program o statické elektřině při práci na letecké technice. Tento úkol jsem pojal způsobem, že písemnou část zpracuji jako teoretický základ (Skriptum), pro problematiku statické elektřiny, kterou by měl mít člověk, který bude výukový program obsluhovat.

Druhou částí, kterou bude multimediální výukový program určený pro pedagoga, který bude probírat látku týkající se statické elektřiny při práci na letecké technice.

Pro vytvoření výukového programu jsem zvolil běžný program pro tvorbu prezentace od společnosti Microsoft – Microsoft Power Point. Tento program jsem si vybral, protože je jednoduchý na ovládání jak pro mě, tak pro člověka, který bude výukový program obsluhovat. A dále má mnoho možností pro tvoření animací, vkládání videa a fotek. V tomto programu je možné dělat grafy a diagramy poměrně jednoduchou cestou a výsledkem jsou graficky pěkně vytvořené snímky uspořádané do prezentace. Při volbě programu hrálo také velkou roli, že Power Point je všude běžně dostupný a nikde není problém s otevřením dokumentu vytvořeného Power Pointem.

Problém by mohl nastat, jestliže bychom vytvořili dokument v aplikaci Power Point 2007 a novější a nechali jej uložen s koncovkou .pttx, protože tyto verze balíčku Microsoft office ještě nejsou tak rozšířené, jak by se mohlo zdát u 3 roky starých programů. Nicméně i toto má řešení, v těch novějších verzích aplikace Microsoft Power Point lze uložit vytvořený dokument s koncovkou typickou pro starší programy (.ppt).

9. 1. *Simulace vzniku a vybíjení*

Prvním problémem při vytváření výukového programu se stalo, jak vlastně ukázat vznik a vybíjení statické elektřiny na letecké technice.

Při řešení tohoto problému jsem vsadil na animace. Dle mého názoru to je jednoduchý, stručný a zároveň velice názorný způsob, jak něco vysvětlit. Tyto animace jsem vytvořil pomocí jednoduchých obrázků daných za sebou ve stopě. Mezi obrázky jsem vložil komentáře ve formě titulek, jako vidáváme na koncích či začátcích filmů. Snažil jsem se, ať popisky v titulcích jsou stručné a věcné, a také co nejkratší. Délka titulků je důležitá, aby se student více nesoustředil na čtení titulků než na samotné obrázky. Tomuto faktu je samozřejmě nutné přizpůsobit čas obrázku na obrazovce.

Pro tento účel jsem použil program Pinnacle 15 Plus Ultimate collection do firmy Pinnacle. Je to firma, která vytváří už přes deset let programy na stříhání videa. V dnešní době je to nejrozšířenější distributor softwarů na stříhání domácího videa. Konkrétní software Pinnacle 15 Plus Ultimate collection je nejnovější jejich software na trhu a umožňuje i stříh videa v HD kvalitě. Tento software mi umožnil jednoduchou a poměrně rychlou práci při tvorbě samotné animace. Či při stříhání videa.

9. 2. Názorné ukázky

Aby můj program mohl být dostatečně názorný, praktický a poučný použil jsem v něm nejen stručně shrnutou teorii, animace, ale také videa, která jsem natočil ve spolupráci s technikem firmy Job air technic a.s. názorná videa pro manipulaci s přístroji náchylnými na statickou elektřinu.

Ve výukovém programu tedy můžete vidět video manipulace s výměnným blokem LRU. Popis tohoto postupu je také popsán v této písemné části. Další názorné video se týká problematiky čerpání paliva do nádrže větších letounů, kde je potřeba použít cisternu s čerpadlem. Obě videa jsou okomentovaná podobně jako animace. Vložené titulky jsou věcné a stručné. Také jsem mezi jednotlivé střihy vložil fotky se šipkami pro lepší názornost a vysvětlení daného problému.

9. 3. Shrnutí

Na závěr této kapitoly bych chtěl shrnout, co vše se ve výukovém programu nachází. Základem je teorie, která je vyjádřena na klasických slidech prezentace v bodech. Je opravdu důležité, ať je teorie vyjádřena v bodech a ne v celých odstavcích, protože potom to odpoutává pozornost studentů a nevypadá to dobře.

Druhou částí programu jsou zmíněné názorné ukázky, ať už ve formě videa či animace. Zařazení těchto prvků je pro výukový program tohoto typu nezbytné, protože to vždy osvěží pro většinu studentů nezáživnou formu teorie, kterou se budou muset naučit. Animace a videa také mohou pomoci studentovi si danou problematiku zapamatovat, pokud se mu vryjí do paměti. Bezpochyby nedílnou součástí mého výukového programu musí být přednášející, který dokáže posluchače zaujmout a přesvědčit je, že tento problém je zajímavý, i když možná pro mnohé není. Opakem by potom byl přednášející, který by si myslel, že tento výukový program je celá náplň je ho přednášky a není nutná žádná přidaná hodnota přednášejícího. To by byl tento program bohužel k ničemu.

10. Zhodnocení cílů

Cílem této práce bylo vytvořit a funkční multimediální výukový program a k němu sepsat teoretickou část, která by byla kvalitním teoretickým doplňkem pro multimediální část. Teoretickou část, kterou jsem zpracoval poměrně podrobně, jsem dle mého názoru splnil.

Nejdůležitější část mé práce jsem tvořil v jednoduchém programu, se kterým se učí pracovat děti na základní škole a to bylo jedním z mých cílů, aby byl program jednoduchý na obsluhu a dostatečně názorný. Tyto body jsem dle mého názoru splnil. Otázkou je jestli je to použitelné pro výuku či školení v této problematice, ale to se dá zjistit jenom jediným způsobem. Kolikrát si říkáte, že máte přednášku skvěle připravenou a po hodině si říkáte, že to nebylo ono, nebo že přednáška nezaujala. S tohoto hlediska můžeme zjistit, zda byl program vytvořen dobře a zda jsem splnil cíl, který jsem vytyčil na začátku této práce, jenom a pouze v praxi při použití tohoto výukového programu ve výuce.

11. Závěr

Závěrem bych chtěl jenom poznamenat, co jsem postřehl při shromažďování materiálů. Při několikanásobné návštěvě servisního hangáru firmy Job air technic a.s., jsem zjistil, že tyto postupy, které uvádím v jedné z kapitol se opravdu dodržují. Další věc je, že technici pracujících na letecké technice mají poměrně velké znalosti v problematice statické elektřiny.

Na konec bych chtěl ještě doporučit, aby se i na menších letištích dbalo na bezpečné postupy při práci, kterou jakýmkoliv způsobem ovlivňuje statická elektřina. A také, aby se nepodceňovali znalosti v oblasti statické elektřiny.

K tomuto účelu by měl sloužit i můj výukový program a byl bych rád, kdyby tomu tak bylo. Možná by někdy stačilo, kdyby někdo potřeboval nabýt znalostí o statické elektřině, tak tomuto účely by mohla být dobrou pomůckou písemná část mé bakalářské práce.

Závěrem ještě doufám, že se Vám moje práce líbila a že splnila všechna vaše očekávání.

12. Seznam použité literatury

- [1] Volner, R. : Digitální technologie – elektronické přístrojové systémy, VŠB TUO, Ostrava, 2007, 1. vydání, 292 str, ISBN 978 – 80 – 248 – 1640 –1
- [2] Martinec, F. : Elektrické systémy draku lietadla, Vysoká vojenská letecká škola generála Milana Rastislava Štefánika, Košice, 1996, č. 18/ 1998, 101 str.,
- [3] Vysoký, P., Malý, K., Fábera, V. : Studijní modul 3 – Základy elektrotechniky, Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2003, 1. vydání, 168 str., ISBN 80 – 7204 – 315 – 3
- [4] Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti : Český obranný standard – ČOS 168001, Agentura vojenských informací a služeb Praha, Praha, 2007, 1.vydání, 24 str.
- [5] Opava, Z. : Elektřina kolem nás, Albatros, Praha, 1985, 2. opravené a doplněné vydání, 334 str., ISBN 13 – 724 – 85 14/66
- [6] Dvojčoš, M. : Dangers of static electricity and protection in aviation, Email od autora z 29.3. 2011
- [7] <http://skriptum.wz.cz/elektro/Tranzist.htm> (5. 4. 2011)
- [8] <http://measure.feld.cvut.cz/groups/lis/download/prednasky/EPS1/Statick%C3%A11%20elekt%C5%99ina.pdf> (1. 4. 2011)
- [9] <http://www.aldebaran.cz/glossary/print.php?id=718> (30. 3. 2011)
- [10] <http://www.astronomie.cz/2009/09/eliasuv-ohen/> (4. 4. 2011)
- [11] http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=423 (4. 4. 2011)
- [12] <http://www.profesional-plzen.cz/antistaticke-produkty-esd.html> (9.4.2011)
- [13] <http://www.pevi.cz/zajimavosti-z-oboru/antistaticke-prostredky.html> (9.4.2011)
- [14] <http://www.hqshop.cz/antistaticky-naramek/p-5382/> (9.4.2011)
- [15] Technická dokumentace k letounu B 737 , The Boeing Company, Renton, 2001
- [16] <http://elektrika.cz/data/clanky/jacsesn030811/view> (9.4. 2011)
- [17] http://www.vscht.cz/.../o_ustavu/clenove/irena_sisrova (9.4.2011)

[18] <http://www.rottermund.de/pages/p210.php?T=tradingcards&B=dsa&P=elmsfeuer&A=1&F=2> (9.4.2011)

[19] Aircraft maintenance manual SAAB 340, Sweden 2009

[20] http://www.flymag.cz/article_list.php?p=1&c=8 (11.5.2011)